

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-031504

(43)Date of publication of application : 31.01.2003

(51)Int.Cl.

H01L 21/205

G23C 16/509

H05H 1/46

(21)Application number : 2001-213062

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 13.07.2001

(72)Inventor : MORITA HARUYUKI

WADA KENJI

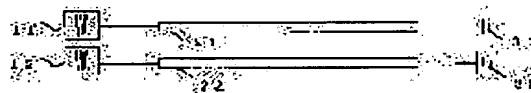
INAMASU TAKASHI

## (54) PLASMA PROCESSING APPARATUS AND METHOD AND SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURED BY USING THEM

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve the problem, even if high-frequency power is applied to a plurality of linear electrodes in a reaction container, while controlling the phase thereof it is difficult to reduce the ununiformity of electric field strength due to standing waves generated on the electrodes and it is insufficient to produce uniform plasma.

**SOLUTION:** In a plasma processing apparatus, having a plurality of small electrodes arranged nearly in the same plane, when high frequency powers of different frequencies are applied to the electrodes adjacent to each other, the combination of the electric field strengths generated by respective electrodes can provide electric field strength which is uniform over a large area to improve film thickness distribution and etching speed distribution.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] Plasma treatment equipment characterized by having two or more small electrodes made to generate the plasma between the processed member arrangement section and this processed member arrangement section, and having the RF generator which impresses the high-frequency power of a frequency which is different in said two or more small electrodes.

[Claim 2] Plasma treatment equipment according to claim 1 characterized by having an RF generator for said every small electrode, and having the output-control means of this RF generator.

[Claim 3] Plasma treatment equipment according to claim 1 to 2 characterized by impressing the output of said RF generator of 1 to at least two or more electrodes among said two or more small electrodes.

[Claim 4] Plasma treatment equipment according to claim 3 characterized by having an output-control means between two or more small electrodes connected to the RF generator and this RF generator of said 1.

[Claim 5] It is plasma treatment equipment according to claim 1 to 4 characterized by connecting the inside of said small electrode, No. even, and No. odd to the RF generator of a different frequency, respectively.

[Claim 6] The 1st, 2nd, and 3rd small electrode which adjoins mutually is plasma treatment equipment according to claim 1 to 4 characterized by connecting with the 1st, 2nd, and 3rd RF generator of a frequency different, respectively.

[Claim 7] Plasma treatment equipment according to claim 1 to 6 characterized by arranging a pulse modulation means between said RF generators and small electrodes.

[Claim 8] The plasma treatment approach characterized by carrying out plasma treatment of the processed member with the plasma of a frequency which is made to generate the plasma and is different between the processed member arrangement section and two or more small electrodes with which the high-frequency power of a different frequency is impressed.

[Claim 9] It is the plasma treatment approach according to claim 8 characterized by the inside of said small electrode, No. even, and No. odd impressing the output of the RF generator of a different frequency, respectively.

[Claim 10] The plasma treatment approach according to claim 8 characterized by impressing the output of the 1st, 2nd, and 3rd RF generator of a frequency different, respectively to the 1st, 2nd, and 3rd small electrode which adjoins mutually.

[Claim 11] The plasma treatment approach according to claim 8 to 10 characterized by impressing the high-frequency power modulated in the shape of a pulse to said electrode.

[Claim 12] The plasma treatment approach characterized by shifting the phase of the high-frequency voltage to impress to said two or more electrodes in the plasma treatment approach according to claim 8 to 11.

[Claim 13] The plasma treatment approach according to claim 8 to 12 characterized by setting the frequency of said RF to 20MHz - 500MHz.

[Claim 14] The semiconductor device produced using plasma treatment equipment according to claim 1 to 13 and the plasma treatment approach.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to plasma treatment equipment, and relates to the semiconductor device produced using suitable processors and arts to perform film deposition, etching, or surface treatment to a processed member and these processors, or an art.

[0002]

[Description of the Prior Art] In the manufacture process of a semiconductor device, processing of the thin film deposition using plasma energy, etching, surface treatment, etc. is indispensable, and enlargement of semiconductor devices, such as a liquid crystal display and a solar battery, and enlargement of the processed area corresponding to the demand of the improvement in a throughput, the improvement in processing speed, and improvement in processing quality have been an important technical problem at these plasma treatment processes.

[0003] When the plasma-CVD method which is a typical film deposition art when the present condition of such plasma treatment is explained is taken for an example, as film to deposit, there are a polycrystal thin film of silicon, a microcrystal thin film, and an amorphous thin film typically, and there are silicon oxide film, a silicon nitride film, a silicification metal membrane, etc. as a compound of silicon. In order to raise the mass-production nature in a plasma-CVD method, it is possible to heighten high-frequency power or to increase a film production rate by making the amount of supply of material gas increase. However, in the conventional approach using 13.56MHz RF band RF as high-frequency power, if film deposition is performed on such conditions, deterioration of the membrane quality by a lot of powder generating and powder adhering to a processed member, and in order [ if it lengthens, ] to cause the fall of the yield, the remarkable improvement in a film production rate is difficult to realize.

[0004] As a solution of a technical problem called coexistence of such good film quality and a high film production rate, promising \*\* of the high-frequency-izing of high-frequency power is carried out. It is known for using the VHF band RF to which the frequency was made to increase further that reduction of plasma temperature and improvement in a plasma consistency can accomplish to coincidence, and it is expected that the quality film can be deposited more by using a VHF band RF at high speed.

[0005] However, it is known that the effect of the standing wave which generates a VHF band RF on an electrode, so that the surface upper limit of an RF electrode becomes large, since wavelength is shorter than RF band RF will become large. Consequently, since the homogeneity within a field of the plasma worsens, when it is film deposition, in aggravation of the homogeneity within the field of thickness or a film property, and etching, aggravation of the homogeneity within the field of an etching rate will be caused. Moreover, since the effect of stray capacity becomes large and loss of high-frequency power other than inter-electrode becomes large so that a frequency becomes high, stable plasma production becomes difficult. It is difficult practically to perform large area processing which used the VHF band RF with the conventional equipment corresponding to RF band RF from these things.

[0006] In view of such a technical problem, the technique of enabling large area processing using a VHF band RF is indicated by JP,2000-323297,A. Drawing 12 explains the outline of the arrangement of electrode for plasma production currently indicated by JP,2000-323297,A. By having the linear electrodes 21 and 22 and two power sources 11 and 12, shifting a phase mutually in the high-frequency voltage impressed to an electrode from each power source, and impressing to each electrode, the field strength generated from each power source

is compounded, and uniform plasma production also of a large area is made possible.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] this invention persons performed examination detailed about the effectiveness of the technique of large area processing using the VHF band RF using a small electrode which is indicated by JP,2000-323297,A. In drawing 12 , two cylindrical electrodes 21 and 22 consisted of stainless steel rods with a diameter [ of 1 cm ], and a die length of 150cm, the RF electrode each other estranged 30mm was assumed, and it asked for the effect on the field strength distribution by the frequency of the high-frequency power when impressing so that it may become each cylindrical electrode with this output and an opposite phase about high-frequency power by electromagnetic-field count. The result is shown in drawing 13 . Under [ all / field / 70% of / of a before / an electric supply edge / from the feeding point / field / effective processing / it is making usual and a plasma treatment effective processing field into the somewhat small field instead of / from the feeding point to / whole / an electric supply edge / , and it sets the core from the feeding point to an electric supply edge as the core of a processed member here and ]. Field strength distribution asked for 100 field strength near [ in said effective processing field ] the electrode, and was set to the (maximum-minimum value) / (maximum + minimum value) x2 of 100 data. It turned out that field strength distribution becomes large with the increment in a frequency. This is considered that field strength distribution became large by the increment in a frequency in response to the effect of the standing wave produced on an antenna electrode. In any [ to which such big field strength distribution introduced an opposite phase and high-frequency power in phase into two RF electrodes ] case, it appears notably. In the flat-surface mold coil electrode of a JIGUZAKU configuration with the long die length of the electrode per one, two or more expressions and complicated and uneven field strength distribution especially arise in the place whose trough of the field strength by the standing wave is not desirable. If the above uneven field strength distribution has suggested causing uneven plasma production and processes by such plasma, it is clear that its a problem arises in the homogeneity of processing or quality. That is, in order to make the uniform plasma generate, it turned out that it is necessary to take into consideration the effect by the standing wave depending on the frequency of the high-frequency power introduced into an RF electrode.

[0008] This invention is made in view of the above-mentioned technical problem, and is to offer the plasma treatment equipment which enables enlargement of the processed area corresponding to the enlargement and the improvement in a throughput in a semiconductor device, improvement in processing speed, and improvement in processing quality, the plasma treatment approach, and the semiconductor device which produced using it.

[0009]

[Means for Solving the Problem] The 1st mode of this invention is plasma treatment equipment characterized by having two or more small electrodes made to generate the plasma between the processed member arrangement section and this processed member arrangement section, and having the RF generator which impresses the high-frequency power of a frequency which is different in said two or more small electrodes. A detail is equipped more with the processed member arrangement section and two or more small electrodes arranged on an abbreviation same flat surface. Make these two or more small electrodes generate the plasma by impressing high-frequency power from an RF generator, and are equipment which processes to the processed member arranged in this reaction container, and it sets to these two or more small electrodes. It is plasma treatment equipment characterized by impressing the high-frequency power of a frequency which is different in the electrode which adjoins mutually.

[0010] The 2nd mode of this invention is the plasma treatment approach characterized by carrying out plasma treatment of the processed member with the plasma of a frequency which is made to generate the plasma and is different between the processed member arrangement section and two or more small electrodes with which the high-frequency power of a different frequency is impressed. It is the plasma treatment approach characterized more by impressing the high-frequency power of a frequency which is different in the small electrode which adjoins a detail mutually in the plasma treatment equipment of the 1st mode.

[0011] The 3rd mode of this invention is the plasma treatment equipment which is the 1st mode, or the semiconductor device produced using the plasma treatment approach which is the 2nd mode.

[0012]

[Embodiment of the Invention] The plasma treatment equipment of this invention is juxtaposition being equipped with two or more small electrodes on the abbreviation same flat surface at the location which counters

a processed member, and impressing high-frequency power to these two or more small electrodes from an RF generator. Generate the plasma between a processed member and two or more small electrodes, and are equipment which processes thin film deposition, etching, surface treatment, etc. to this processed member, and it sets to these two or more small electrodes. It is plasma treatment equipment characterized by impressing the high-frequency power of a frequency which is different in the small electrode which adjoins mutually.

[0013] The top view of the electrode structure of the plasma treatment equipment which drawing 1 requires for the gestalt of operation of this invention, drawing 2 (a), (b), and (c) are graphs which show the electric field strength near the electrode of this plasma treatment equipment.

[0014] In drawing 1, the electrode structure of plasma treatment equipment consisted of a stainless steel rod with a diameter [ of 1cm ], and a die length of 150cm, and is equipped with two cylindrical electrodes 21 and 22 each other estranged 30mm. The both ends of each electrodes 21 and 22 are connected to 1st RF generator 11, the 1st touch-down section 31 and 2nd RF generator 12, and the 2nd touch-down section 32, respectively. The 1st RF generator 11 and 2nd RF generator 12 impress high-frequency power to the electrode 21 which is one side, respectively, and the electrode 22 of another side. Moreover, the 1st RF generator 11 and 2nd RF generator 12 differ from each other in the frequency of high-frequency power, the 1st RF generator is 50MHz and the 2nd RF generator is 135MHz.

[0015] Drawing 2 (a) shows the field strength produced near this electrode 21, when high-frequency power is impressed to one electrode 21 by 1st RF generator 11. Moreover, drawing 2 R> 2 (b) shows the field strength produced near this electrode 22, when high-frequency power is impressed to another electrode 22 by 2nd RF generator 12. As shown in drawing 2 (a) and (b), it became the field strength distribution which changed with differences in a frequency. Under [ all / field / 70% of / of a before / an electric supply edge / from the feeding point / field / effective processing / it is making usual and a plasma treatment effective processing field into the somewhat small field instead of / from the feeding point to / whole / an electric supply edge /, and it sets the core from the feeding point to an electric supply edge as the core of a processed member here and ]. As shown in drawing 2, at (a), field strength increases almost in monotone from the feeding point to an electric supply edge, and by (b), there is a part to which field strength falls remarkably near the electric supply edge, and, to say nothing of an effective processing field outside, it both becomes the field strength distribution which has a big ununiformity by the standing wave also [ in an effective processing field ].

[0016] Drawing 2 (c) is the wave which compounded the wave of drawing 2 (a) and (b). Thus, by compounding the electric field formed with the high-frequency power of a different frequency showed that the homogeneity of the field strength distribution in an effective processing field improved.

[0017] It becomes possible [ controlling the amount of the high-frequency power impressed to each electrode ] while it impresses the high-frequency power of a frequency which is different in the electrode which adjoins mutually, since the plasma treatment equipment of this invention is equipped with the RF generator for said every small electrode.

[0018] The ratio of the high-frequency power which should be impressed to each smallness electrode is calculated from the thickness distribution when impressing the high-frequency power of the conditions in each smallness electrode, for example, when the plasma treatment equipment of this invention which has such a configuration was used, or distribution of an etch rate, and it becomes possible to improve thickness distribution and distribution of an etch rate by impressing high-frequency power to each smallness electrode in consideration of the ratio which the above calculated.

[0019] It becomes possible to improve thickness distribution and distribution of an etch rate from one RF generator to two or more small electrodes which impress the high-frequency power of the same frequency by making controllable the amount of the high-frequency power which distributes high-frequency power to each small electrode with a distributor, and is impressed for every frequency. Moreover, it becomes possible to decrease the number of RF generators by this configuration, and contributes to reduction of plant-and-equipment investment, or reduction of facility occupancy area.

[0020] The 1st electrode of arbitration, the 2nd adjoining electrode and the 2nd electrode, and the 3rd adjoining electrode using three kinds of frequencies The frequency of the high-frequency voltage impressed to the 4th electrode which the frequencies of the high-frequency voltage impressed differ, does not adjoin this 1st electrode, but adjoins this 3rd electrode the frequency of the high-frequency voltage impressed to this 1st electrode -- the same -- making -- the uniform large area plasma treatment which reduced the effect of the

standing wave produced when a high frequency is used by things becomes possible.

[0021] The 1st electrode of arbitration, and the 2nd adjoining electrode using two kinds of frequencies The frequency of the high-frequency voltage impressed to the 3rd electrode which the frequencies of the high-frequency voltage impressed differ, does not adjoin this 1st electrode, but adjoins this 2nd electrode the frequency of the high-frequency voltage impressed to this 1st electrode -- the same -- making -- the uniform large area plasma treatment which reduced the effect of the standing wave produced when a high frequency is used by things becomes possible easily simple.

[0022] the technique of compounding [ technique ] the field strength produced with each electrode, and producing uniform field strength has the width of face of an electrode fully small by impressing the high-frequency voltage of a frequency which is different in such a small electrode that adjoins mutually in said small electrode to the die length of a longitudinal direction, and the wavelength of a frequency to be used -- it is effective if it is configurations, such as cylindrical or tabular.

[0023] It is also effective to consider as the technique of reducing further the uneven electric field formed with each smallness electrode, and to impress the high-frequency power modulated in the shape of a pulse to each small electrode. In the time amount from which the high-frequency power impressed to each smallness electrode becomes off, plasma excitation reinforcement becomes low, and when diffusion of the radical which contributes to a treatment process arises, the uneven plasma formed near [ each ] a smallness electrode is eased. Consequently, the uniform plasma treatment covering a large area becomes possible. Moreover, in the time amount from which high-frequency power becomes off, since plasma excitation reinforcement becomes low and the polymerization reaction of a radical is inhibited, generating of powder can be reduced.

[0024] Moreover, it is effective to adjust the phase of the high-frequency voltage impressed to each small electrode according to each small electrode as the another technique of reducing further the uneven electric field formed with each smallness electrode. Therefore, as for the plasma treatment equipment of this invention, it is desirable that the phase of the high-frequency voltage impressed to each small electrode is adjusted according to each small electrode. The phase adjustment of the high-frequency voltage impressed to each smallness electrode is possible by forming the phase adjuster which used capacitance and an inductance in the RF transmission line, or adjusting the die length of the RF transmission line. Usually, since the field strength on an electrode becomes large, depending on the distance between small electrodes, and the magnitude of the high-frequency power impressed to an electrode, and the distance of a processed substrate and an electrode, the processing speed according [ the part on the electrode of a processed member side ] to the plasma may become quick locally. By controlling a phase to both electrodes as mentioned above, by strengthening the field strength to the electrode which adjoins from an electrode, the field strength to a processed member can be eased and suppose that it is uniform.

[0025] Since the electron density in the plasma is increased and plasma potential can be low suppressed by making into the range of 20-500MHz the frequency of the high-frequency voltage impressed to each smallness electrode, improvement in the speed of processing and improvement in processing quality become possible at coincidence. The frequency of the high-frequency voltage impressed to each smallness electrode here is chosen so that the field strength distribution by the standing wave produced on each frequency may be equalized according to the terminal impedance of the small electrode with which target equipment was equipped, and its small electrode.

[0026] The semiconductor device which whose plasma treatment equipment and plasma treatment approach of this invention can improve enlargement of the processed area corresponding to the improvement in a throughput, the improvement in processing speed, and processing quality in plasma treatment, such as film deposition in the production process of a semiconductor device, etching, and surface treatment, and was produced using this equipment or an approach has high performance and the advantage that it can manufacture cheaply.

[0027] Although the plasma-CVD equipment which has hereafter the RF electrode with which it comes to arrange two or more long and slender small electrodes of two or more in a plane in one example of this invention explains, thereby, this invention is not limited at all. For example, configurations, such as a zigzag configuration, a spiral configuration, U characters, and M etc. characters, are sufficient, and arrangement of each smallness electrode is not limited to parallel arrangement, either. Moreover, not the thing limited to CVD as plasma treatment but etching can raise processing quality similarly.

The abbreviation sectional view of the plasma-CVD equipment which used the schematic plan view of the plasma-CVD equipment used for this example for <example 1> drawing 3 at this example at drawing 4 is shown. This equipment is plasma-CVD equipment of the inductive-coupling mold which arranges and becomes so that the six rod-like small electrodes 21-26 may be mutually arranged in the reaction container 4 interior equipped with the gas installation means 5 and the evacuation means 6 made from stainless steel in parallel on the same flat surface at a plane and it may become parallel to the field of the processed member 40. The processed member 40 is installed on the base 3 in which a processed member is laid so that the center of the processed member 40 may be located in the center of abbreviation of the small electrodes 21-26, as shown all over drawing. The small electrodes 21-26 in this example are plates with a long and slender thickness [ of the shape of a straight line made from stainless steel / of 2mm ], and a width of face of 10mm, and one die length is 150cm and is arranged in 40mm pitch. RF generators 11-16 adjustable in a frequency are connected to the end of each small electrodes 21-26 through the adjustment machines 71-76 at each, and the frequency and high-frequency power which are impressed to each small electrode are made controllable according to the individual. In this example, although the frequency adjustable RF generator was used, the RF generator of the frequency immobilization from which a frequency differs may be used. Moreover, another edge of each small electrode is connected to the touch-down section. In this example, the amorphous silicon thin film was produced using the following film production conditions.

被処理部材：ガラス基板（20cm×80cm角）

総ガス流量：SiH<sub>4</sub> 1300sccm

H<sub>2</sub> 1800sccm

基板温度：200℃

高周波電力：600W

ガス圧力：10Pa

High-frequency power with a frequency of 150MHz is impressed to 21 and 24 among two or more small electrodes 21-26 arranged in a plane to a processed member, high-frequency power with a frequency of 50MHz is impressed to 22 and 25, and 100MHz high-frequency power is impressed to 23 and 26. At this time, each RF generator adjusted 11-16 so that the high-frequency power impressed to each smallness electrodes 21-26 might become the same 600W.

[0028] After film production processing of 1 hour, the glass substrate which the amorphous silicon thin film deposited was cut so that it might become ten division into equal parts from the reaction container 4 about the longitudinal direction of drawing and a glass substrate and might become ten division into equal parts about the shorter one, and 100 samples for thickness measurement were produced. Thickness distribution became 15%, as a result of performing thickness measurement of those sample cores and evaluating average thickness and thickness distribution using a level difference meter. In this example, thickness became max in the location corresponding to the small electrodes 201 and 204, and thickness had become min in the location corresponding to the small electrodes 202 and 205. In addition, the (maximum-minimum value) / (maximum + minimum value) x2 of 100 samples were calculated as thickness distribution.

Thickness distribution became 13% when it adjusted so that the high-frequency power impressed to the small electrodes 22 and 25 might be 1.4 times the high-frequency power impressed to the small electrodes 21 and 24 in consideration of thickness distribution of the <example 2> example 1, and the other conditions produced the film like the example 1.

[0029] Since the frequency of the high-frequency power switched on compared with the small electrodes 22 and 25 was high, the plasma of high density was generated compared with small electrode 22 and 25 top, and the small electrodes 21 and 24 were able to be locally made into the high film production rate. Since the RF generator is arranged to each small electrode by the plasma treatment equipment of this invention and the frequency and electric energy which are impressed for every small electrode can be adjusted to it, an improvement of the further thickness distribution is attained.

In the example of the <example 1 of comparison> book, when it considered as the same equipment configuration as an example 1 and an example 2, and film production conditions, 50MHz high-frequency power was impressed to all the small electrodes 21-26 and 100MHz high-frequency power was impressed, the thickness distribution when impressing 150MHz high-frequency power was checked. Consequently, it became

on the frequency of 100MHz and became 63% with the frequency of 150MHz 36% 29% on the frequency of 50MHz.

The schematic plan view of the plasma-CVD equipment used for <example 3> drawing 5 at this example is shown. The plasma-CVD equipment of this example is equipped with 11-13 three RF generators adjustable in a frequency. Equipartition is carried out by the distributor 81 through the adjustment machine 71 from RF generator 11, and high-frequency power is impressed to the small electrodes 21 and 24. Similarly, from RF generator 12, through the adjustment machine 72, equipartition is carried out and high-frequency power is impressed to the small electrodes 22 and 25 by the distributor 82. From RF generator 13, through the adjustment machine 73, equipartition is carried out and high-frequency power is impressed to the small electrodes 23 and 26 by the distributor 83. Other equipment configurations were made the same with an example 1, and the amorphous silicon thin film was produced using the same film production conditions as an example 1.

[0030] The frequency of RF generator 11 is set to 150MHz, the frequency of RF generator 12 is set to 50MHz, and the frequency of RF generator 13 is set to 100MHz. At this time, it adjusted so that the high-frequency power impressed to each smallness electrodes 21-26 might become the same 600W.

[0031] After film production processing of 1 hour, the glass substrate which the amorphous silicon thin film deposited was cut so that it might become ten division into equal parts from the reaction container 4 about the longitudinal direction of drawing and a glass substrate and might become ten division into equal parts about the shorter one, and 100 samples for thickness measurement were produced. As a result of performing thickness measurement of those sample cores and evaluating average thickness and thickness distribution using a level difference meter, 15% of the same thickness distribution as an example 1 was acquired. In this example, since the number of an RF generator or an adjustment machine is reducible compared with an example 1, it is effective in reduction of the footprint of plant-and-equipment investment and a facility.

It adjusted so that the high-frequency power of RF generator 12 impressed to the small electrodes 22 and 25 might be 1.4 times the high-frequency power of RF generator 11 impressed to the small electrodes 21 and 24 in consideration of thickness distribution of the <example 4> example 3, and when the other conditions produced the film like the example 3, 13% of the same thickness distribution as an example 2 was acquired.

[0032] Since the frequency of the high-frequency power switched on compared with the small electrodes 22 and 25 was high, the plasma of high density was generated compared with small electrode 22 and 25 top, and the small electrodes 21 and 24 were able to be locally made into the high film production rate. Since the RF generator is arranged for every small electrode by which the same frequency is impressed to the plasma treatment equipment of this invention and the electric energy impressed in frequency can be adjusted, it becomes improvable [ the further thickness distribution ]. Moreover, since this example as well as an example 3 can reduce the number of an RF generator or an adjustment machine, it is effective in reduction of plant-and-equipment investment and facility occupancy area.

The schematic plan view of the plasma-CVD equipment used for <example 5> drawing 6 at this example is shown. This equipment is plasma-CVD equipment of the inductive-coupling mold which arranges and becomes so that the 16 rod-like small electrodes 201-216 may be mutually arranged in the reaction container 4 interior equipped with the gas installation means 5 and the evacuation means 6 made from stainless steel in parallel on the same flat surface at a plane and it may be countering in parallel to the field of the processed member 40. The processed member 40 is installed on the base 3 in which a processed member is laid so that the center of a processed member may be located in the center of abbreviation of the small electrodes 201-216, as shown all over drawing. The small electrodes 201-216 in this example are the round bar of the shape of a straight line made from stainless steel, are 130cm in the diameter of 6mm per one, and die length, and are arranged in 40mm pitch. The plasma-CVD equipment of this example is equipped with RF generators 11 and 12 whose frequencies are adjustable two. Equipartition is carried out by the distributor 81 through the adjustment machine 71 from RF generator 11, and it is impressed by the small electrode group located in an odd number. Similarly, from RF generator 12, through the adjustment machine 72, equipartition is carried out by the distributor 82 and it is impressed by the small electrode group located in an even number. In this example, the amorphous silicon thin film was produced using the following film production conditions.



被処理部材：ガラス基板（60cm×70cm角）

総ガス流量：SiH<sub>4</sub> 1300sccm

H<sub>2</sub> 1800sccm

基板温度：200℃

高周波電力：600W

ガス圧力：10Pa

High-frequency power with a frequency of 135MHz is impressed to the small electrode group located in an odd number among two or more small electrodes 201-216 arranged in a plane to a processed member, and 50MHz high-frequency power is impressed to the small electrode group located in an even number. At this time, it is adjusted so that the high-frequency power impressed to each smallness electrodes 201-216 might become the same 600W.

[0033] After film production processing of 1 hour, the glass substrate which the amorphous silicon thin film deposited was cut so that it might become ten division into equal parts from the reaction container 4 about the longitudinal direction of drawing and a glass substrate and might become 30 division into equal parts about the shorter one, and 300 samples for thickness measurement were produced. As a result of performing thickness measurement of those sample cores and evaluating average thickness and thickness distribution using a level difference meter, thickness distribution became 18% and the effectiveness was seen also in film production of a large area. thus, the frequency of the high-frequency voltage with which the frequency of the high-frequency voltage which the frequencies of the high-frequency voltage impressed differ, and impresses the 1st electrode of arbitration and the 2nd adjoining electrode to the 3rd electrode with which this 1st electrode does not adjoin but this 2nd electrode adjoins is impressed to this 1st electrode -- the same -- making -- things -- it is -- a simple facility -- and it is possible to acquire good thickness distribution over a large area. In this example, thickness became max in the location corresponding to the small electrode group located in an odd number, and thickness had become min in the location corresponding to the small electrode group located in an even number.

Thickness distribution became 15% when it adjusted so that the high-frequency power impressed to the small electrode group located in an even number might be 1.2 times the high-frequency power impressed to the small electrode group located in an odd number in consideration of thickness distribution of the <example 6> example 5, and the other conditions produced the film like the example 5.

[0034] Since the frequency of the high-frequency power switched on compared with the small electrode group located in an even number was high, the plasma of high density was generated compared with the small electrode group top located in an even number, and the small electrode group located in an odd number was able to be locally made into the high film production rate. Since the RF generator is arranged for every frequency and the electric energy impressed in frequency can be adjusted, it becomes plasma treatment equipment of this invention improvable [ the further thickness distribution ].

The schematic plan view of the plasma-CVD equipment used for <example 7> drawing 7 at this example is shown. The plasma-CVD equipment of this example is equipped with the power sources 91 and 92 for a modulation for every RF generator, by carrying out pulse modulation of the high-frequency voltage supplied from RF generators 11 and 12, can turn on and off the high-frequency voltage impressed to each smallness electrodes 201-216 in the shape of a pulse, and can impress it repeatedly. In this example, 50% of duty ratio and 100kHz pulse modulation were performed to the high-frequency voltage impressed to each smallness electrodes 201-216. The timing turned on and off presupposed that it is the same with each smallness electrodes 21-24. Thickness distribution was 10% as a result of the other conditions' producing a film like an example 5. moreover, also saw generating of powder and it was not stopped.

The schematic plan view of the plasma-CVD equipment used for <example 8> drawing 8 at this example is shown. The plasma-CVD equipment of this example is equipped with RF generators 11 and 12 whose frequencies are adjustable two. Equipartition of the RF oscillated from RF generator 11 is carried out to eight by the distributor 81, it is introduced to the RF track where eight small electrodes of an odd number are connected, and is impressed to the small electrode group located in an odd number through the adjustment machine and phase adjuster of an odd number which were formed in each RF track. Equipartition of the RF similarly oscillated from RF generator 12 is carried out to eight by the distributor 82, it is introduced to the RF track where eight small electrodes of an even number are connected, and is impressed to the small electrode group

located in an even number through the adjustment machine and phase adjuster of an even number which were formed in each RF track. The phase adjusters 101-116 which consist of the inductances and capacitance which were prepared in each RF track after taking the synchronization of the oscillator of each RF generator by the synchronous circuit which is not illustrated performed phase control of the high-frequency voltage impressed to each smallness electrodes 201-216. In this example, the phase of the high-frequency voltage which impresses high-frequency power with a frequency of 150MHz to the small electrode group located in an odd number, impresses 100MHz high-frequency power to the small electrode group located in an even number, and is impressed to an odd number electrode group was shifted 180 degrees with said phase adjuster. Thickness distribution was 16% as a result of the other conditions' producing a film like an example 5.

[0035] Although the small electrode of the shape of a straight line which carried out parallel arrangement as a small electrode was used and high-frequency power was impressed from it being the same in this example, high-frequency power may be impressed from the direction which is not limited to this at all, for example, faces in the shape of a ctenidium.

At <example 9> this example, the thin film solar cell was produced by forming the photo-electric-conversion layer which consists of an amorphous silicon thin film using the plasma-CVD equipment shown in drawing 7. The abbreviation sectional view of the thin film solar cell produced in this example is shown in drawing 9. It formed so that it might become about 1-micrometer thickness about ZnO by the sputtering method as a transparent electrode 402 on this by 60cmx70cm, using a glass substrate with a thickness of 1.1mm as a substrate 401. Then, a substrate 401 is inserted in the interior of the reaction container of the plasma-CVD equipment shown in drawing 7 so that the RF electrode with which the side in which the transparent electrode 402 was formed consists of two or more small electrodes may be countered. On the transparent electrode 132, the photo-electric-conversion layer was formed by producing a film in order of p mold amorphous silicon thin film 403 of 30nm of thickness, i mold amorphous silicon thin film 404 of 300nm of thickness, and n mold amorphous silicon thin film 405 of 30nm of thickness. the film production conditions of p, i, and the amorphous silicon thin film of each n mold are shown below. In addition, in the case of film production of i mold amorphous silicon thin film 404, 50% of duty ratio and 100kHz pulse modulation are performed to the high-frequency power impressed to each smallness electrodes 201-216.

film production condition high-frequency power [ of p mold amorphous silicon thin film ]: -- 600W modulation RF: -- non-material gas: -- SiH<sub>4</sub> 200sccm H<sub>2</sub> 1800sccm B-2 H<sub>6</sub> (% [ 2.0 ]/H<sub>2</sub>) 360sccm film production pressure: -- 10Pa frequency: -- an odd number electrode group -- 135MHz and an even number electrode group -- 50MHz.

substrate temperature: -- film production condition high-frequency power [ of 200 degree-Ci mold amorphous silicon thin film ]: -- 600W modulation RF: -- ON time amount =50microsec. off -- time amount =50microsec material gas: -- SiH<sub>4</sub> 1300SCCM H<sub>2</sub> 1800SCCM film production pressure: -- 10Pa frequency: -- an odd number electrode group -- 135MHz and an even number electrode group -- 50MHz.

substrate temperature: -- film production condition high-frequency power [ of 200 degree-Cn mold amorphous silicon thin film ]: -- 600 W/cm<sup>2</sup> modulation RF: -- non-material gas: -- SiH<sub>4</sub> 150sccm H<sub>2</sub> 1800sccm PH<sub>3</sub> (% [ 2.0 ]/H<sub>2</sub>) 150sccm film production pressure: -- 10Pa frequency: -- an odd number electrode group -- 135MHz and an even number electrode group -- 50MHz.

Substrate temperature: After picking out a substrate 401 from 200-degree-C reaction container, it formed as a rear-face electrode 406 so that it might become the thickness of 300nm about Ag by the sputtering method. The rear-face electrode 406 is reflecting the light which once penetrated the photo-electric-conversion layer, and also has the role which improves generating efficiency.

[0036] Per glass substrate and a 10 piece x10 piece unit cell (4cm angle of electrode surface products) were created, and distribution of the photoelectric conversion efficiency was measured. Drawing 10 shows the variation when setting the average value of the photoelectric conversion efficiency in 100 unit cells to 1. Except for the frequency of high-frequency power, the solar battery was produced on the same film production conditions as an example 9 using the plasma-CVD equipment shown in <example 2 of comparison> drawing 13. A frequency is set only to 135MHz and 50% of duty ratio and 100kHz pulse modulation are performed to the high-frequency power impressed to each smallness electrodes 201-216. The variation in the photoelectric conversion efficiency in 100 unit cells produced by this example is shown in drawing 11.

[0037] The variation in the photoelectric conversion efficiency of the thin film solar cell produced using the

plasma-CVD equipment of this invention was small, and it has checked that improvement in a yield could make by the plasma-CVD equipment and the plasma-CVD approach of this invention.

[0038] Although the plasma-CVD equipment and the plasma-CVD approach of this invention were applied to the manufacture process of the thin film solar cell which uses an amorphous silicon thin film as a photo-electric-conversion layer in this example, the effectiveness of this invention is not restricted to this. For example, in etching of film production of a polycrystalline silicon thin film or an amorphous silicon thin film, or a polycrystalline silicon thin film etc., enlargement of the processed area corresponding to the enlargement and the improvement in a throughput in a semiconductor device, the improvement in processing speed, and improvement in processing quality are possible, and it cannot be overemphasized that the yield, dependability, and mass-production nature improve in plasma treatment processes, such as film deposition and etching, by this invention. However, it cannot be overemphasized that it is applicable to manufacture processes, such as not only the manufacture process of a thin film solar cell but a thin film transistor. In this invention, the frequency of the high-frequency voltage impressed to each smallness electrode is not limited to the frequency of each above-mentioned example, and it is chosen so that the field strength distribution by the standing wave produced on each frequency may be equalized according to the terminal impedance of the small electrode with which target equipment was equipped in short, and its small electrode.

[0039]

[Effect of the Invention] The plasma treatment equipment which becomes possible [compounding the field strength produced with each electrode, and producing uniform field strength over a large area by impressing the high-frequency power of a frequency which is different in the electrode which adjoins mutually by this invention to two or more small electrodes arranged on an abbreviation same flat surface in a reaction container, ] is offered.

[0040] Therefore, in plasma treatment processes, such as film production in a semiconductor device manufacture process, and an etching process, enlargement of the processed area corresponding to the enlargement and the improvement in a throughput in a semiconductor device, the improvement in processing speed, and improvement in processing quality are possible, consequently this invention enables it to raise the yield, dependability, and mass-production nature.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

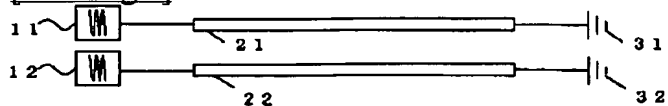
**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

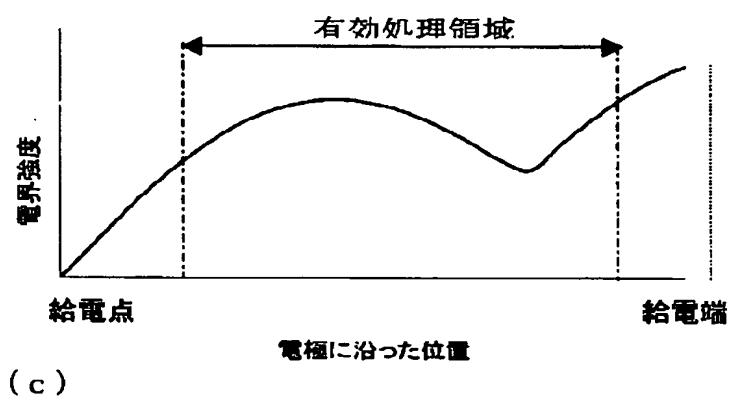
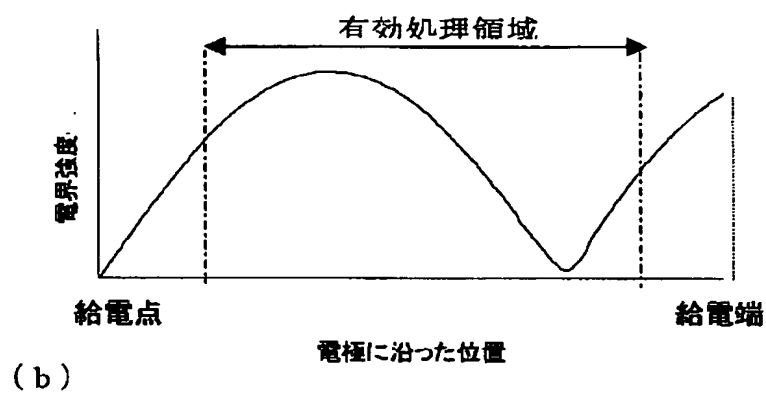
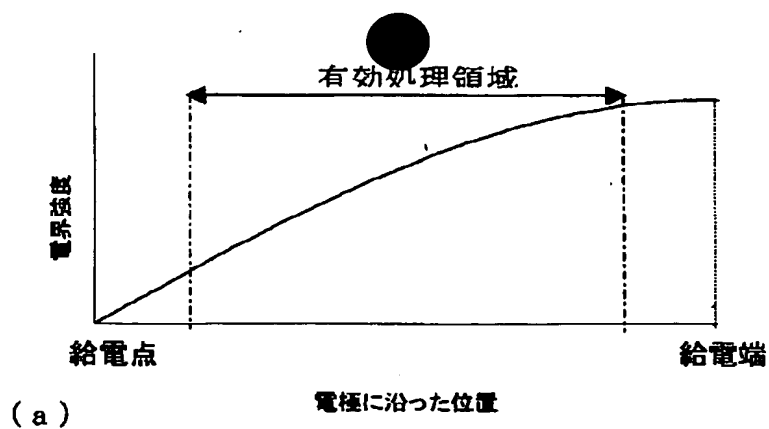
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

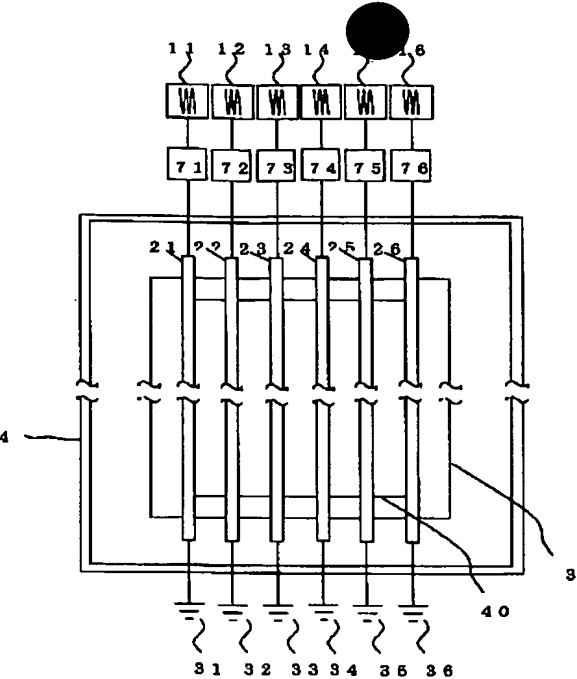
**DRAWINGS**

---

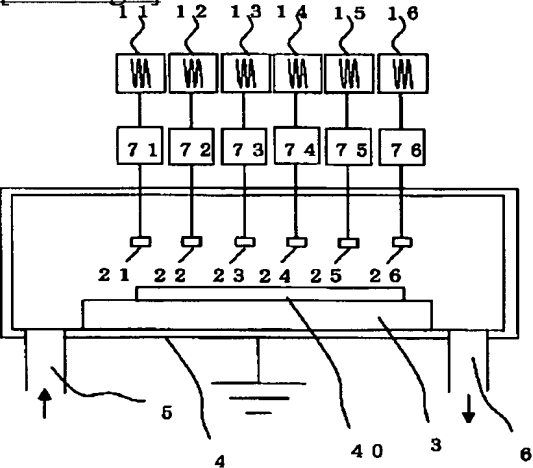
[Drawing 1][Drawing 2]



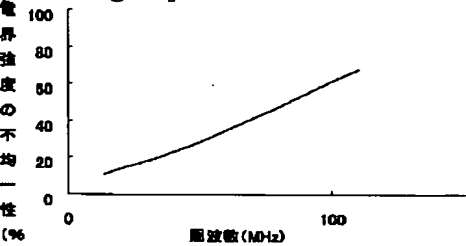
[Drawing 3]



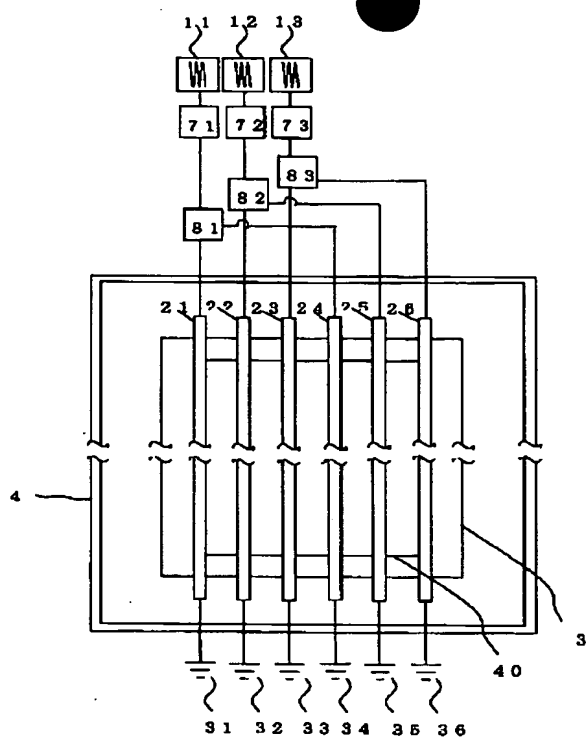
[Drawing 4]



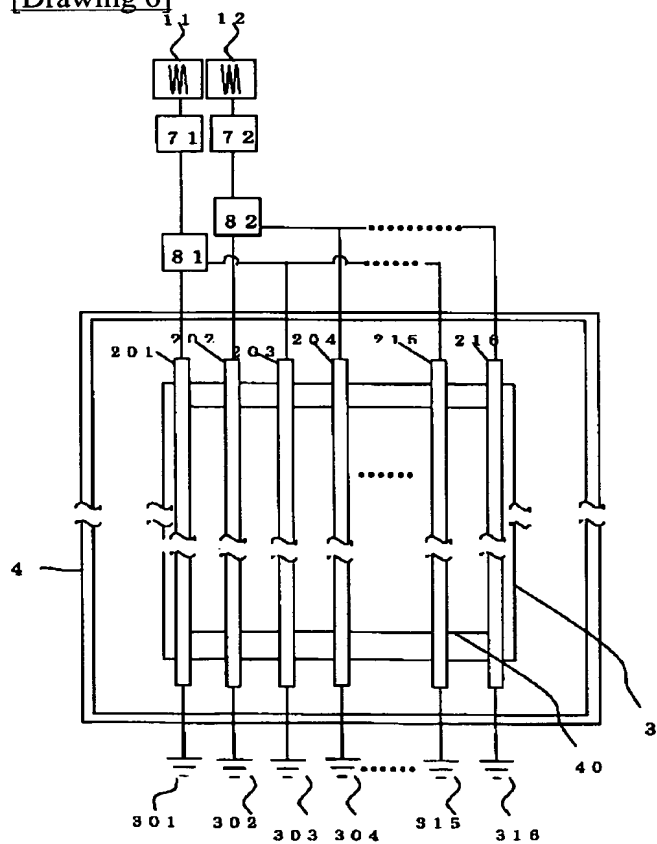
[Drawing 13]



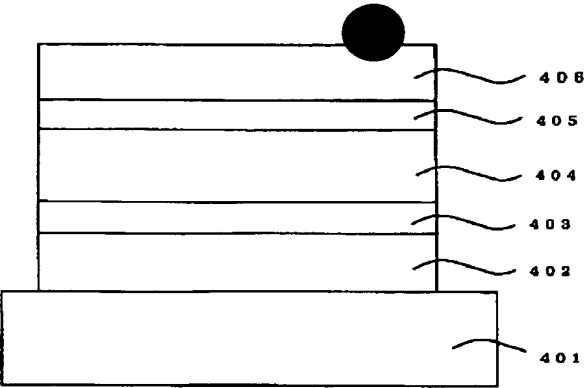
[Drawing 5]



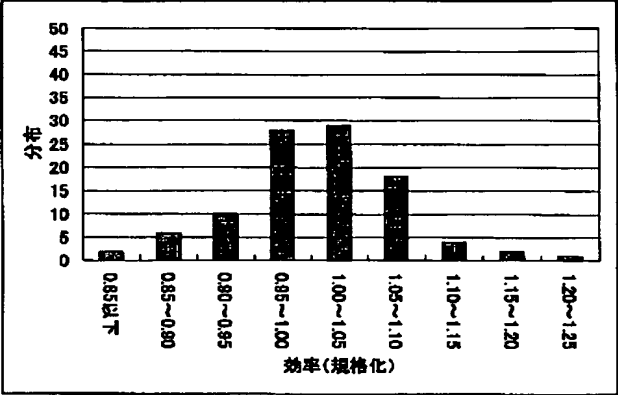
[Drawing 6]



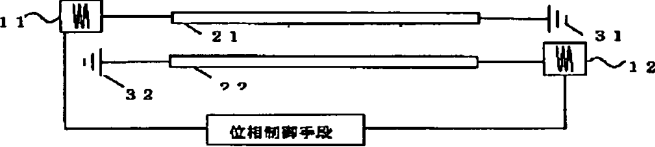
[Drawing 9]



[Drawing 10]

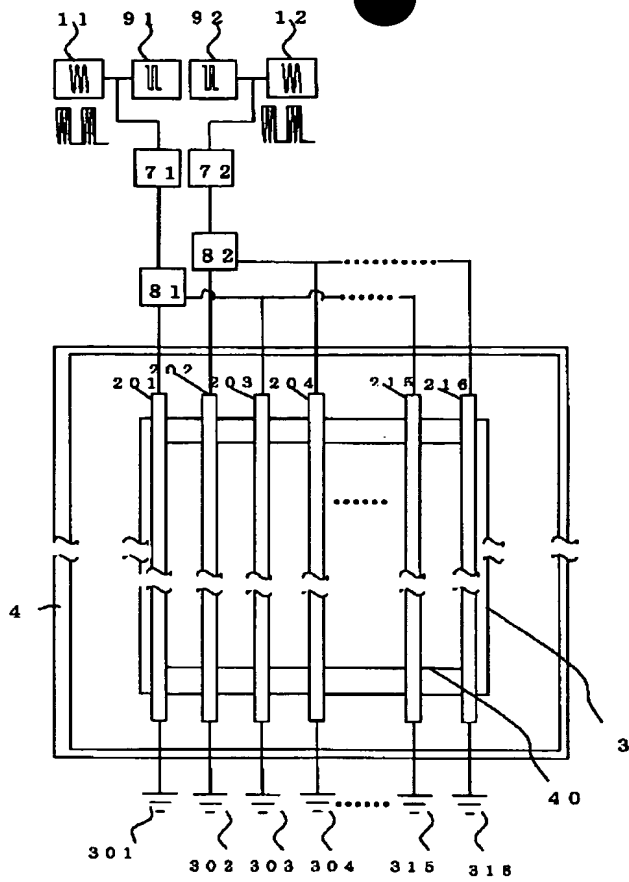


[Drawing 12]

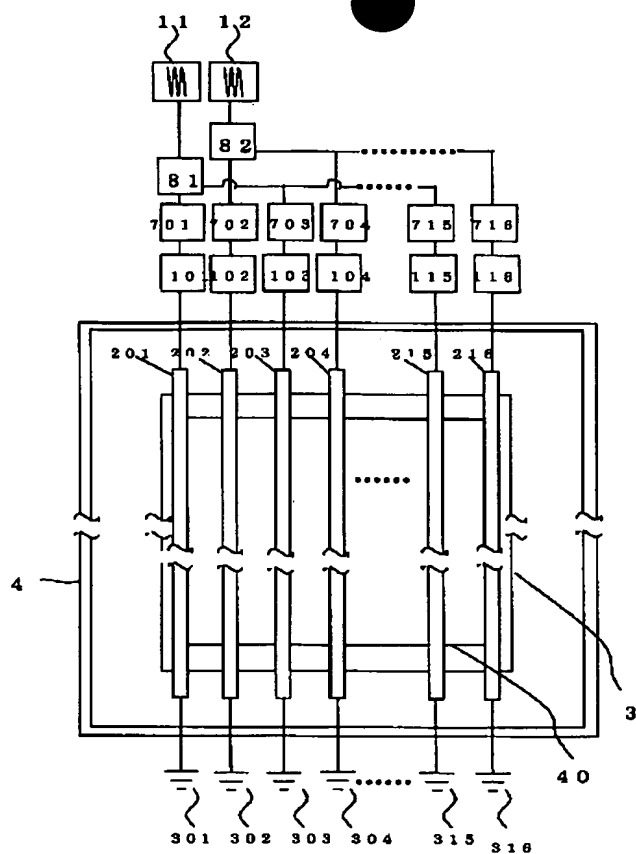


[Drawing 7]

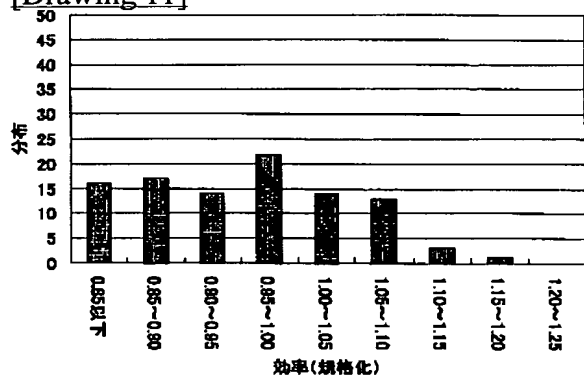




[Drawing 8]



[Drawing 11]



[Translation done.]

|                            |      |             |                          |
|----------------------------|------|-------------|--------------------------|
| (51) Int. Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I         | ターマコード <sup>*</sup> (参考) |
| H01L 21/205                |      | H01L 21/205 | 4K030                    |
| C23C 16/509                |      | C23C 16/509 | 5F045                    |
| H05H 1/46                  |      | H05H 1/46   | L                        |

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全11頁)

(21) 出願番号 特願2001-213062 (P 2001-213062)

(22) 出願日 平成13年7月13日 (2001. 7. 13)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 森田 春雪

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(72) 発明者 和田 健司

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(74) 代理人 100102277

弁理士 佐々木 晴康 (外2名)

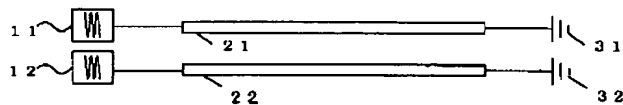
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法、それらを用いて作製した半導体装置

## (57) 【要約】

【課題】 反応容器内の複数の線状電極に位相を制御して高周波電力を印加しても、電極上に生じる定在波による電界強度の不均一性を低減することは困難であり、均一なプラズマを生成させるには不十分である。

【解決手段】 プラズマ処理装置において、反応容器内の略同一平面上に配置された複数の小電極に対して、互いに隣接する電極に異なる周波数の高周波電力を印加することで、各々の電極で生じる電界強度を合成して大面積にわたって均一な電界強度を生じさせることが可能となり、膜厚分布やエッチング速度の分布が改善される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被処理部材配設部と、該被処理部材配設部との間でプラズマを発生させる複数の小電極とを備え、前記複数の小電極に異なる周波数の高周波電力を印加する高周波電源を備えることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】 前記小電極毎に高周波電源を備え、該高周波電源の出力制御手段を備えることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】 前記一の高周波電源の出力を前記複数の小電極のうち、少なくとも 2 つ以上の電極に印加することを特徴とする請求項 1 ～ 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】 前記一の高周波電源と、該高周波電源に接続される 2 つ以上の小電極の間に出力制御手段を備えることを特徴とする請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】 前記小電極の中、偶数番と奇数番はそれぞれ異なる周波数の高周波電源に接続されることを特徴とする請求項 1 ～ 4 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】 互いに隣接する第 1、第 2、第 3 の小電極は、それぞれ異なる周波数の第 1、第 2、第 3 の高周波電源に接続されることを特徴とする請求項 1 ～ 4 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】 前記高周波電源と小電極の間にパルス変調手段を配設することを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】 被処理部材配設部と、異なる周波数の高周波電力が印加される複数の小電極との間でプラズマを発生させ、異なる周波数のプラズマで被処理部材をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 9】 前記小電極の中、偶数番と奇数番はそれぞれ異なる周波数の高周波電源の出力を印加することを特徴とする請求項 8 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 10】 互いに隣接する第 1、第 2、第 3 の小電極に、それぞれ異なる周波数の第 1、第 2、第 3 の高周波電源の出力を印加することを特徴とする請求項 8 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 11】 前記電極に対し、パルス状に変調された高周波電力を印加することを特徴とする請求項 8 ～ 10 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 12】 請求項 8 ～ 11 に記載のプラズマ処理方法において、前記複数の電極に対し、印加する高周波電圧の位相をずらすことを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 13】 前記高周波の周波数を 20 MHz ～ 500 MHz とすることを特徴とする請求項 8 ～ 12 のいずれかに記載のプラズマ処理方法。

【請求項 14】 請求項 1 ～ 13 のいずれかに記載のプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を用いて作製した

半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はプラズマ処理装置に係り、被処理部材に対し膜堆積、エッチングあるいは表面改質を行うのに好適な処理装置及び処理方法、ならびにこれらの処理装置または処理方法を用いて作製した半導体装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体装置の製造プロセスにおいて、プラズマエネルギーを利用した薄膜堆積、エッチング、表面改質等の処理が必要不可欠であり、これらのプラズマ処理工程では、液晶ディスプレイや太陽電池等の半導体装置の大型化、及び処理能力向上の要求に対応した被処理面積の大型化や処理速度の向上、そして処理品質の向上が重要な課題になっている。

【0003】このようなプラズマ処理の現状について説明すると、代表的な膜堆積処理方法であるプラズマ CVD 法を例に取ると、堆積される膜として、代表的にはシリコンの多結晶薄膜、微結晶薄膜、非晶質薄膜があり、シリコンの化合物としては酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、珪化金属膜などがある。プラズマ CVD 法における量産性を向上させるために、高周波電力を高める、または原料ガスの供給量を増加させることで、製膜速度を増大させることが可能である。しかしながら、高周波電力として 13.56 MHz の RF 帯高周波を用いた従来の方法において、そのような条件で膜堆積を行うと、多量のパウダーが生成し、パウダーが被処理部材へ付着することによる膜質の低下、引いては歩留まりの低下を引き起こすために、製膜速度の著しい向上は実現困難である。

【0004】このような良好な膜品質と高い製膜速度の両立という課題の解決策として、高周波電力の高周波数化が有望視されている。周波数を更に増加させた VHF 帯高周波を用いることで、プラズマ温度の低減と、プラズマ密度の向上が同時に成し得ることが知られており、VHF 帯高周波を用いることで、高品質な膜をより高速で堆積できると期待される。

【0005】しかしながら、VHF 帯高周波は RF 帯高周波よりも波長が短いため、高周波電極の表面最大寸法が大きくなるほど、電極上で発生する定在波の影響が大きくなることが知られている。その結果、プラズマの面内均一性が悪くなるため、膜堆積の場合は膜厚や膜特性の面内均一性の悪化、エッチングの場合はエッチングレートの面内均一性の悪化を引き起こしてしまう。また、周波数が高くなるほど浮遊容量の影響が大きくなり、電極間以外での高周波電力の損失が大きくなるため、安定なプラズマ生成が困難になる。これらのことから、RF 帯高周波に対応した従来の装置では、VHF 帯高周波を用いた大面積処理を行うことは、実用上困難である。

【0006】このような課題に鑑み、VHF帯高周波を用いて大面積処理を可能とする手法が特開2000-323297号公報に開示されている。図12により、特開2000-323297号公報に開示されているプラズマ生成用電極装置の概要を説明する。線状の電極21、22と2つの電源11、12を備え、各々の電源から電極に印加される高周波電圧において、互いに位相をずらして各々の電極へ印加することにより、各々の電源から発生する電界強度を合成し、大面積でも均一なプラズマ生成が可能であるとしている。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明者らは、特開2000-323297号公報に開示されているような、小電極を用いたVHF帯高周波を用いた大面積処理の手法の効果について詳細な検討を行った。図12において、2つの棒状電極21、22が直径1cm、長さ150cmのステンレス棒からなり、互いに30mm離間されている高周波電極を仮定し、各々の棒状電極に高周波電力を同出力かつ逆位相となるように印加した時の高周波電力の周波数による電界強度分布への影響を電磁界計算により求めた。その結果を図13に示す。通常、プラズマ処理有効処理領域は、給電点から給電端までの全体ではなく、ひとまわり小さい領域としており、ここでは、給電点から給電端までの中心を被処理部材の中心とし、給電点から給電端までの間の70%の領域を有効処理領域とみなした。電界強度分布は、前記有効処理領域における電極近傍の電界強度を100点求めて、100個のデータの(最大値-最小値)/(最大値+最小値)×2とした。周波数の増加に伴って電界強度分布が大きくなっていく事が判った。これは、周波数の増加により、アンテナ電極上に生じる定在波の影響を受けて、電界強度分布が大きくなったものと考えられる。このような大きな電界強度分布は、2本の高周波電極に逆位相、同位相の高周波電力を導入したいずれの場合も顕著に表れる。とりわけ、1本あたりの電極の長さが長いジグザク形状の平面型コイル電極では、定在波による電界強度の谷が望ましくない所に複数現われ、複雑で不均一な電界強度分布が生じる。前述のような不均一な電界強度分布は、不均一なプラズマ生成を引き起こすことを示唆しており、このようなプラズマにより処理を行うと、処理の均一性や品質に問題が生じることは明らかである。つまり、均一なプラズマを生成させるためには、高周波電極に導入する高周波電力の周波数に依存する定在波による影響を考慮する必要があることが分かった。

【0008】本発明は、上記課題を鑑みてなされたものであり、半導体装置の大型化や処理能力向上に対応した被処理面積の大型化や処理速度の向上、及び処理品質の向上を可能とするプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法、そして、それを用いて作製した半導体装置を提供することにある。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様は、被処理部材配設部と、該被処理部材配設部との間でプラズマを発生させる複数の小電極とを備え、前記複数の小電極に異なる周波数の高周波電力を印加する高周波電源を備えることを特徴とするプラズマ処理装置である。より詳細には、被処理部材配設部と、略同一平面上に配置された複数の小電極とを備え、該複数の小電極に、高周波電源から高周波電力を印加することでプラズマを発生させて、該反応容器内に配置された被処理部材に対し処理を行う装置であり、該複数の小電極において、互いに隣接する電極に異なる周波数の高周波電力を印加することを特徴とするプラズマ処理装置である。

【0010】本発明の第2の態様は、被処理部材配設部と、異なる周波数の高周波電力が印加される複数の小電極との間でプラズマを発生させ、異なる周波数のプラズマで被処理部材をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法である。より詳細には、第1の態様のプラズマ処理装置において、互いに隣接する小電極に異なる周波数の高周波電力を印加することを特徴とするプラズマ処理方法である。

【0011】本発明の第3の態様は、第1の態様であるプラズマ処理装置、あるいは第2の態様であるプラズマ処理方法を用いて作製した半導体装置である。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】本発明のプラズマ処理装置は、被処理部材に対向する位置に、略同一平面上に複数の小電極が並列に備えられており、該複数の小電極に、高周波電源から高周波電力を印加することで、被処理部材と複数の小電極との間にプラズマを発生させて、該被処理部材に対し薄膜堆積、エッチング、表面改質等の処理を行う装置であり、該複数の小電極において、互いに隣接する小電極に異なる周波数の高周波電力を印加することを特徴とするプラズマ処理装置である。

【0013】図1は本発明の実施の形態に係るプラズマ処理装置の電極構造の平面図、図2(a)、(b)、(c)は同プラズマ処理装置の電極近傍の電場強度を示すグラフである。

【0014】図1において、プラズマ処理装置の電極構造は、直径1cm、長さ150cmのステンレス棒からなり、互いに30mm離間されている2つの棒状電極21、22を備えている。各電極21、22の両端部は、それぞれ第1の高周波電源11と第1の接地部31、第2の高周波電源12と第2の接地部32に接続されている。第1の高周波電源11と第2の高周波電源12は、それぞれ一方の電極21と他方の電極22に高周波電力を印加する。また第1の高周波電源11と第2の高周波電源12は、高周波電力の周波数が異なっており、第1の高周波電源は50MHz、第2の高周波電源は135MHzである。

【0015】図2(a)は、第1の高周波電源11により一方の電極21に高周波電力を印加した場合に、この電極21の近傍に生じる電界強度を示している。また図2(b)は、第2の高周波電源12によりもう一方の電極22に高周波電力を印加した場合に、この電極22の近傍に生じる電界強度を示している。図2(a)および(b)に示すように、周波数の違いによって異なった電界強度分布となった。通常、プラズマ処理有効処理領域は、給電点から給電端までの全体ではなく、ひとまわり小さい領域としており、ここでは、給電点から給電端までの中心を被処理部材の中心とし、給電点から給電端までの間の70%の領域を有効処理領域とみなした。図2に示すように、(a)では給電点から給電端まではほぼ単調に電界強度が増加し、(b)では給電端近くで電界強度が著しく低下する箇所があり、ともに有効処理領域外は言うまでもなく、有効処理領域内においても定在波による大きな不均一を有する電界強度分布となる。

【0016】図2(c)は、図2(a)、(b)の波形を合成した波形である。このように異なる周波数の高周波電力で形成される電界を合成することにより、有効処理領域内の電界強度分布の均一性は改善されることが判った。

【0017】本発明のプラズマ処理装置は、前記小電極毎に高周波電源を備えているので、互いに隣接する電極に異なる周波数の高周波電力を印加するとともに、各々の電極に印加する高周波電力の量を制御することが可能となる。

【0018】このような構成を有する本発明のプラズマ処理装置を用いると、例えば、各小電極にある条件の高周波電力を印加した時の膜厚分布やエッチング速度の分布から、各小電極に印加するべき高周波電力の比率を算定し、各小電極に前記の算定した比率を考慮して高周波電力を印加することで、膜厚分布やエッチング速度の分布を改善することが可能となる。

【0019】同じ周波数の高周波電力を印加する複数の小電極に対し、一つの高周波電源から分配器によって各々の小電極に高周波電力を分配し、周波数ごとに印加する高周波電力の量を制御可能とすることで、膜厚分布やエッチング速度の分布を改善することが可能となる。また、この構成により高周波電源の数を減少させることが可能となり、設備投資の低減や設備占有面積の低減に寄与する。

【0020】3種類の周波数を用い、任意の第1電極と隣接する第2の電極および第2の電極と隣接する第3の電極とは、印加される高周波電圧の周波数が異なり、且つ、該第1の電極とは隣接せず、該第3の電極とは隣接する第4の電極に印加する高周波電圧の周波数は、該第1の電極に印加される高周波電圧の周波数と同じであるようにすることで、高い周波数を用いた時に生じる定在波の影響を低減した均一な大面積プラズマ処理が可能と

なる。

【0021】2種類の周波数を用い、任意の第1電極と隣接する第2の電極とは、印加される高周波電圧の周波数が異なり、且つ、該第1の電極とは隣接せず、該第2の電極とは隣接する第3の電極に印加する高周波電圧の周波数は、該第1の電極に印加される高周波電圧の周波数と同じであるようにすることで、高い周波数を用いた時に生じる定在波の影響を低減した均一な大面積プラズマ処理が簡便で且つ容易に可能となる。

10 【0022】このような互いに隣接する小電極に異なる周波数の高周波電圧を印加することにより、各々の電極で生じる電界強度を合成して均一な電界強度を生じさせる手法は、前記小電極において、長手方向の長さおよび用いる周波数の波長に対して電極の幅が十分に小さい棒状あるいは、板状等の形状であれば有効である。

20 【0023】各小電極で形成される不均一な電界を更に低減する手法として、各々の小電極に対し、パルス状に変調された高周波電力を印加することも有効である。各小電極に印加する高周波電力がオフとなる時間では、プラズマ励起強度が低くなり、処理プロセスに寄与するラジカル等の拡散が生じることによって、各小電極付近で形成される不均一なプラズマが緩和される。その結果、大面積にわたる均一なプラズマ処理が可能となる。また、高周波電力がオフとなる時間では、プラズマ励起強度が低くなりラジカルの重合反応が抑止されることから、パウダーの発生が低減できる。

【0024】また、各小電極で形成される不均一な電界を更に低減する別の手法として、各々の小電極に印加される高周波電圧の位相を、各々の小電極に応じて調整することが有効である。そのため、本発明のプラズマ処理装置は、各々の小電極に印加される高周波電圧の位相が、各々の小電極に応じて調整されていることが好ましい。各小電極に印加される高周波電圧の位相調整は、キャパシタンスやインダクタンスを用いた位相調整器を高周波伝送線路に設けたり、高周波伝送線路の長さを調整することで可能である。通常、電極上の電界強度が大きくなるため、小電極相互の距離や、電極と被処理基板の距離、電極に印加する高周波電力の大きさによっては、被処理部材面の電極上の部分が局所的にプラズマによる処理速度が速くなる事がある。前述のように電極相互に位相を制御する事により、電極から隣接する電極への電界強度を強める事で、被処理部材への電界強度を緩和し均一とする事が出来る。

【0025】各小電極に印加される高周波電圧の周波数を20~500MHzの範囲とすることで、プラズマ中の電子密度を増大させ、且つ、プラズマポテンシャルを低く抑えることができるので、処理の高速化と処理品質の向上が同時に可能となる。ここで各小電極に印加される高周波電圧の周波数は、対象とする装置に備えられた小電極と、その小電極の終端インピーダンスに応じて、

各々の周波数で生じる定在波による電界強度分布が均一化されるように選択される。

【0026】本発明のプラズマ処理装置ならびにプラズマ処理方法は、半導体装置の製造工程における膜堆積、エッチング、及び表面改質等のプラズマ処理において、処理能力向上に対応した被処理面積の大型化、処理速度の向上及び処理品質の向上をなし得るものであり、該装置または方法を用いて作製された半導体装置は、高性能かつ安価に製造できるという利点を有する。

【0027】以下、本発明の一実施例を、複数の複数の細長い小電極が平面状に配設されてなる高周波電極を有するプラズマCVD装置により説明するが、本発明はこれにより何ら限定されるものではない。例えば、ジグザグ形状、スパイラル形状、U字、M字等の形状でもよく、各小電極の配置も平行配置に限定されるものではない。また、プラズマ処理としてCVDに限定されるものではなく、エッチングなどでも同様に処理品質を向上させることができる。

〈実施例1〉図3に、本実施例に使用したプラズマCVD装置の略平面図を、図4に本実施例に使用したプラズマCVD装置の略断面図を示す。本装置は、ガス導入手段5と真空排気手段6を備えたステンレス鋼製の反応容器4内部に、6本の棒状の小電極21～26を同一平面上で互いに平行に平面状に配設し且つ、被処理部材40の面に対して平行となるように配設してなる、誘導結合型のプラズマCVD装置である。被処理部材40は、図中に示すように小電極21～26の略中央に被処理部材40の中央が位置するように被処理部材を載置する台3の上に設置されている。本実施例における小電極21～26はステンレス鋼製の一直線状の細長い厚み2mm、幅10mmの板であり、1本の長さは150cmであり、40mmピッチで配設されている。各々の小電極21～26の一端には、各々に整合器71～76を介して周波数が可変の高周波電源11～16が接続されており、各々の小電極に印加する周波数及び高周波電力を個別に制御可能としている。本実施例においては、周波数可変の高周波電源を用いたが、周波数の異なる周波数固定の高周波電源を用いても良い。また、各々の小電極のもう一方の端は、接地部に接続されている。本実施例では、下記の製膜条件を用いて非晶質シリコン薄膜を製膜した。

**被処理部材：ガラス基板（20cm×80cm角）**

**総ガス流量：SiH<sub>4</sub> 1300sccm**

**H<sub>2</sub> 1800sccm**

**基板温度：200℃**

**高周波電力：600W**

**ガス圧力：10Pa**

被処理部材に対して平面状に配設される複数の小電極21～26のうち、21と24には周波数150MHzの高周波電力を印加し、22と25には周波数50MHzの高周波電力を印加し、23と26には100MHzの

高周波電力を印加する。このとき、各高周波電源は11～16は、各小電極21～26へ印加される高周波電力が600Wで同じとなるように調整した。

【0028】1時間の製膜処理の後、非晶質シリコン薄膜が堆積されたガラス基板を反応容器4から取出し、ガラス基板の長手方向を10等分、短い方を10等分となるように切断して膜厚測定用サンプルを100個作製した。段差計を用いて、それらのサンプル中心部の膜厚測定を行い、平均膜厚と膜厚分布を評価した結果、膜厚分布は15%となった。本例では、小電極201と204に対応する位置で膜厚が最大となり、小電極202と205に対応する位置で膜厚が最小となっていた。なお、100個のサンプルの（最大値－最小値）／（最大値＋最小値）×2を膜厚分布として求めた。

〈実施例2〉実施例1の膜厚分布を考慮し、小電極22および25に印加する高周波電力が、小電極21と24に印加する高周波電力の1.4倍となるように調整し、それ以外の条件は実施例1と同様に製膜を行ったところ、膜厚分布は13%となった。

【0029】小電極21および24は、小電極22および25に比べて投入する高周波電力の周波数が高いため小電極22や25上に比べて高密度のプラズマが生成され、局所的に高い製膜速度にすることができた。本発明のプラズマ処理装置には、各々の小電極に対して、高周波電源が配設されているので、各々の小電極ごとに印加される周波数および電力量を調整することが出来るため、さらなる膜厚分布の改善が可能になる。

〈比較例1〉本例では、実施例1及び実施例2と同様の装置構成および製膜条件とし、小電極21～26の全てに50MHzの高周波電力を印加した時、100MHzの高周波電力を印加した時の膜厚分布を確認した。その結果、周波数50MHzでは29%、周波数100MHzでは36%、周波数150MHzでは63%となった。

〈実施例3〉図5に本実施例に使用したプラズマCVD装置の略平面図を示す。本実施例のプラズマCVD装置は、周波数が可変の高周波電源3つ11～13を備えている。高周波電源11から整合器71を介して分配器81によって等分配され、小電極21および24に高周波電力が印加される。同様に高周波電源12からは、整合器72を介して分配器82によって等分配され、小電極22および25に高周波電力が印加される。高周波電源13からは、整合器73を介して分配器83によって等分配され、小電極23および26に高周波電力が印加される。その他の装置構成を実施例1と同じくし、実施例1と同じ製膜条件を用いて非晶質シリコン薄膜を製膜した。

【0030】高周波電源11の周波数を150MHzとし、高周波電源12の周波数を50MHzとし、高周波電源13の周波数を100MHzとする。このとき、各

小電極 21～26 へ印加される高周波電力が 600W で同じとなるように調整した。

【0031】1 時間の製膜処理の後、非晶質シリコン薄膜が堆積されたガラス基板を反応容器 4 から取出し、ガラス基板の長手方向を 10 等分、短い方を 10 等分となるように切断して膜厚測定用サンプルを 100 個作製した。段差計を用いて、それらのサンプル中心部の膜厚測定を行い、平均膜厚と膜厚分布を評価した結果、実施例 1 と同様の 15% の膜厚分布が得られた。本実施例では、実施例 1 に比べ、高周波電源や整合器の個数を削減できることから、設備投資及び設備のフットプリントの低減に有効である。

＜実施例 4＞実施例 3 の膜厚分布を考慮し、小電極 22 および 25 に印加する高周波電源 12 の高周波電力が、小電極 21 と 24 に印加する高周波電源 11 の高周波電力の 1.4 倍となるように調整し、それ以外の条件は実施例 3 と同様に製膜を行ったところ、実施例 2 と同様の 13% の膜厚分布が得られた。

【0032】小電極 21 および 24 は、小電極 22 および 25 に比べて投入する高周波電力の周波数が高いため小電極 22 や 25 上に比べて高密度のプラズマが生成され、局所的に高い製膜速度にすることができた。本発明のプラズマ処理装置には、同じ周波数が印加される小電極ごとに高周波電源が配設されているので、周波数単位で印加される電力量を調整することが出来るため、さらなる膜厚分布の改善が可能となる。また、実施例 3 と同様に本実施例も高周波電源や整合器の個数を削減できることから、設備投資及び設備占有面積の低減に有効である。

＜実施例 5＞図 6 に本実施例に使用したプラズマ CVD 装置の略平面図を示す。本装置は、ガス導入手段 5 と真空排気手段 6 を備えたステンレス鋼製の反応容器 4 内部に、16 本の棒状の小電極 201～216 を同一平面上で互いに平行に平面状に配設し且つ、被処理部材 40 の面に対して平行に対向となるように配設してなる、誘導結合型のプラズマ CVD 装置である。被処理部材 40 は、図中に示すように小電極 201～216 の略中央に被処理部材の中央が位置するように被処理部材を載置する台 3 の上に設置されている。本実施例における小電極 201～216 はステンレス鋼製の一直線状の丸棒であり、1 本当たりの直径 6mm、長さ 130cm であり、40mm ピッチで配設されている。本実施例のプラズマ CVD 装置は、周波数が可変の 2 つの高周波電源 11、12 を備えている。高周波電源 11 から整合器 71 を介して分配器 81 によって等分配され、奇数番号に位置する小電極群に印加される。同様に高周波電源 12 からは、整合器 72 を介して分配器 82 によって等分配され、偶数番号に位置する小電極群に印加される。本実施例では、下記の製膜条件を用いて非晶質シリコン薄膜を製膜した。

被処理部材：ガラス基板（60cm×70cm 角）

総ガス流量：SiH<sub>4</sub> 1300sccm

H<sub>2</sub> 1800sccm

基板温度：200℃

高周波電力：600W

ガス圧力：10Pa

被処理部材に対して平面状に配設される複数の小電極 201～216 のうち、奇数番号に位置する小電極群には周波数 135MHz の高周波電力を印加し、偶数番号に位置する小電極群には 50MHz の高周波電力を印加する。このとき、各小電極 201～216 へ印加される高周波電力が 600W で同じとなるように調整した。

【0033】1 時間の製膜処理の後、非晶質シリコン薄膜が堆積されたガラス基板を反応容器 4 から取出し、ガラス基板の長手方向を 10 等分、短い方を 30 等分となるように切断して膜厚測定用サンプルを 300 個作製した。段差計を用いて、それらのサンプル中心部の膜厚測定を行い、平均膜厚と膜厚分布を評価した結果、膜厚分布は 18% となり、大面積の製膜においてもその効果がみられた。このように、任意の第 1 電極と隣接する第 2 の電極とは、印加される高周波電圧の周波数が異なり、且つ、該第 1 の電極とは隣接せず、該第 2 の電極とは隣接する第 3 の電極に印加する高周波電圧の周波数は、該第 1 の電極に印加される高周波電圧の周波数と同じであるようにすることで、簡便な設備で且つ大面積にわたって良好な膜厚分布を得る事が可能である。本例では、奇数番号に位置する小電極群に対応する位置で膜厚が最大となり、偶数番号に位置する小電極群に対応する位置で膜厚が最小となっていた。

＜実施例 6＞実施例 5 の膜厚分布を考慮し、偶数番号に位置する小電極群に印加する高周波電力が、奇数番号に位置する小電極群に印加する高周波電力の 1.2 倍となるように調整し、それ以外の条件は実施例 5 と同様に製膜を行ったところ、膜厚分布は 15% となった。

【0034】奇数番号に位置する小電極群は、偶数番号に位置する小電極群に比べて投入する高周波電力の周波数が高いために偶数番号に位置する小電極群上に比べて高密度のプラズマが生成され、局所的に高い製膜速度にすることができた。本発明のプラズマ処理装置には、周波数ごとに高周波電源が配設されているので、周波数単位で印加される電力量を調整することが出来るため、さらなる膜厚分布の改善が可能となる。

＜実施例 7＞図 7 に本実施例に使用したプラズマ CVD 装置の略平面図を示す。本実施例のプラズマ CVD 装置は、各高周波電源毎に変調用電源 91、92 を備えており、高周波電源 11、12 から供給される高周波電圧をパルス変調することにより、各小電極 201～216 に印加する高周波電圧をパルス状にオン・オフして繰り返し印加することができる。本実施例では、各小電極 201～216 に印加する高周波電圧に対して、デューティ



一比50%、100kHzのパルス変調を行った。オン・オフするタイミングは各小電極21~24で同じとした。それ以外の条件は実施例5と同様にして製膜した結果、膜厚分布は10%であった。また、パウダーの発生もみとめられなかった。

＜実施例8＞図8に本実施例に使用したプラズマCVD装置の略平面図を示す。本実施例のプラズマCVD装置は、周波数が可変の2つの高周波電源11、12を備えている。高周波電源11から発振された高周波は、分配器81によって8つに等分配され、奇数番号の8つの小電極が接続されている高周波線路へ導入し、各々の高周波線路に設けられた奇数番号の整合器及び位相調整器を経て奇数番号に位置する小電極群に印加される。同様に高周波電源12から発振された高周波は、分配器82によって8つに等分配され、偶数番号の8つの小電極が接続されている高周波線路へ導入し、各々の高周波線路に設けられた偶数番号の整合器及び位相調整器を経て偶数番号に位置する小電極群に印加される。各小電極201~216に印加する高周波電圧の位相制御は、図示していない同期回路によって各高周波電源の発振器の同期をとったうえで、各高周波線路に設けたインダクタンスおよびキャパシタンスから構成される位相調整器101~116によって行った。本実施例では、奇数番号に位置する小電極群には周波数150MHzの高周波電力を印加し、偶数番号に位置する小電極群には100MHzの高周波電力を印加し、奇数電極群に印加する高周波電圧の位相を前記位相調整器によって180度ずらした。そ

p型非晶質シリコン薄膜の製膜条件

高周波電力：600W

変調高周波：無

原料ガス：SiH<sub>4</sub> 200sccm

H<sub>2</sub> 1800sccm

B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (2.0%/H<sub>2</sub>) 360sccm

製膜圧力：10Pa

周波数：奇数番号電極群は135MHz、偶数番号電極群は50MHz。

基板温度：200℃

i型非晶質シリコン薄膜の製膜条件

高周波電力：600W

変調高周波：オン時間=50μsec、オフ時間=50μsec。

原料ガス：SiH<sub>4</sub> 1300SCCM

H<sub>2</sub> 1800SCCM

製膜圧力：10Pa

周波数：奇数番号電極群は135MHz、偶数番号電極群は50MHz。

基板温度：200℃

n型非晶質シリコン薄膜の製膜条件

高周波電力：600W/cm<sup>2</sup>

変調高周波：無

原料ガス：SiH<sub>4</sub> 150sccm

H<sub>2</sub> 1800sccm

PH<sub>3</sub> (2.0%/H<sub>2</sub>) 150sccm

れ以外の条件は実施例5と同様にして製膜した結果、膜厚分布は16%であった。

【0035】本実施例では、小電極として平行配置した一直線状の小電極を使用して、同一方向から高周波電力を印加したが、これになんら限定されることはなく、例えば櫛歯状に相対する方向から高周波電力を印加しても構わない。

＜実施例9＞本実施例では、図7に示すプラズマCVD装置を用いて、非晶質シリコン薄膜からなる光電変換層を形成することで、薄膜太陽電池を作製した。本実施例において作製した薄膜太陽電池の略断面図を図9に示す。基板401として60cm×70cmで厚さ1.1mmのガラス基板を用い、この上に透明電極402として、スパッタリング法によりZnOを約1μmの膜厚となるように形成した。その後、透明電極402が形成された側が複数の小電極からなる高周波電極に対向するように、基板401を図7に示すプラズマCVD装置の反応容器内部に装入する。透明電極132の上に、膜厚30nmのp型非晶質シリコン薄膜403、膜厚300nmのi型非晶質シリコン薄膜404、膜厚30nmのn型非晶質シリコン薄膜405の順に製膜することで光電変換層を形成した。p、i、n型各々の非晶質シリコン薄膜の製膜条件を以下に示す。なお、i型非晶質シリコン薄膜404の製膜の際には、各小電極201~216に印加する高周波電力に対してデューティー比50%、100kHzのパルス変調を行っている。

製膜圧力：10Pa

周波数：奇数番号電極群は135MHz、偶数番号電極群は50MHz。

基板温度：200℃

反応容器から基板401を取り出した後、裏面電極406として、スパッタリング法によりAgを300nmの厚さとなるように形成した。裏面電極406は、光電変換層を一旦透過した光を反射させることで、発電効率を改善する役割をも有している。

【0036】1枚のガラス基板当たり、10個×10個の単位セル（電極面積4cm角）を作成し、その光電変換効率の分布を測定した。図10は、100個の単位セルにおける光電変換効率の平均値を1とした時の、そのバラツキを示したものである。

〈比較例2〉図13に示したプラズマCVD装置を用い、高周波電力の周波数を除いて実施例9と同様の製膜条件で太陽電池を作製した。周波数は135MHzのみとし、各小電極201～216に印加する高周波電力に対してデューティー比50%、100kHzのパルス変調を行っている。本例で作製した100個の単位セルにおける光電変換効率のバラツキを、図11に示す。

【0037】本発明のプラズマCVD装置を用いて作製した薄膜太陽電池の光電変換効率のバラツキは小さく、本発明のプラズマCVD装置及びプラズマCVD方法により、歩留の向上がなし得ることが確認できた。

【0038】本実施例では、本発明のプラズマCVD装置及びプラズマCVD方法を、非晶質シリコン薄膜を光電変換層とする薄膜太陽電池の製造プロセスに適用したが、本発明の効果はこれに限らない。例えば、多結晶シリコン薄膜の製膜、あるいは非晶質シリコン薄膜や多結晶シリコン薄膜のエッチング等においても、半導体装置の大型化や処理能力向上に対応した被処理面積の大型化や処理速度の向上、及び処理品質の向上が可能であり、本発明により、膜堆積やエッチング等のプラズマ処理工程において、歩留まり、信頼性、量産性が向上されることは言うまでもない。しかるに、薄膜太陽電池の製造プロセスのみならず、薄膜トランジスタ等の製造プロセスに適用できることは言うまでもない。本発明において、各小電極に印加される高周波電圧の周波数は、上記各実施例の周波数に限定されるものではなく、要するに対象とする装置に備えられた小電極と、その小電極の終端インピーダンスに応じて、各々の周波数で生じる定在波による電界強度分布が均一化されるように選択される。

【0039】

【発明の効果】本発明により、反応容器内に略同一平面上に配置された複数の小電極に対して、互いに隣接する電極に異なる周波数の高周波電力を印加することで、各々の電極で生じる電界強度を合成して大面積にわたって均一な電界強度を生じさせることが可能となるプラズマ処理装置が提供される。

【0040】したがって、本発明により、半導体装置製

造プロセスにおける製膜及びエッチング工程等のプラズマ処理工程において、半導体装置の大型化や処理能力向上に対応した被処理面積の大型化や処理速度の向上、及び処理品質の向上が可能であり、その結果、歩留まり、信頼性、量産性を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のプラズマ処理装置における高周波電極の略平面図を示す。

【図2】本発明の態様であるプラズマCVD装置の電極近傍の電界強度を示すグラフを示す。

【図3】本発明の1つの態様であるプラズマCVD装置の略平面図を示す。

【図4】本発明の1つの態様であるプラズマCVD装置の略断面図を示す。

【図5】本発明の別の態様であるプラズマCVD装置の略平面図を示す。

【図6】本発明のさらに別の態様であるプラズマCVD装置の略平面図を示す。

【図7】本発明のさらに別の態様であるプラズマCVD装置の略平面図を示す。

【図8】本発明のさらに別の態様であるプラズマCVD装置の略断面図を示す。

【図9】本発明の半導体装置である薄膜太陽電池の略断面図を示す。

【図10】本発明のプラズマCVD方法により作製した薄膜太陽電池における光電変換効率のバラツキを示す。

【図11】従来のプラズマCVD方法により作製した薄膜太陽電池における光電変換効率のバラツキを示す。

【図12】従来のプラズマ処理装置における高周波電極の略平面図を示す。

【図13】従来のプラズマ処理装置における電界強度分布の周波数依存性を示す。

【符号の説明】

11～16 高周波電源

21～26、201～216 小電極

3 被処理部材配設部

4 反応容器

5 ガス導入手段

6 真空排気手段

71～76、701～716 整合器

81～83 分配器

91、92 変調用電源

101～116 位相調整器

31～36、301～316 接地部

40 被処理部材

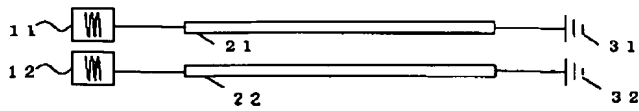
401 ガラス基板

402 透明電極

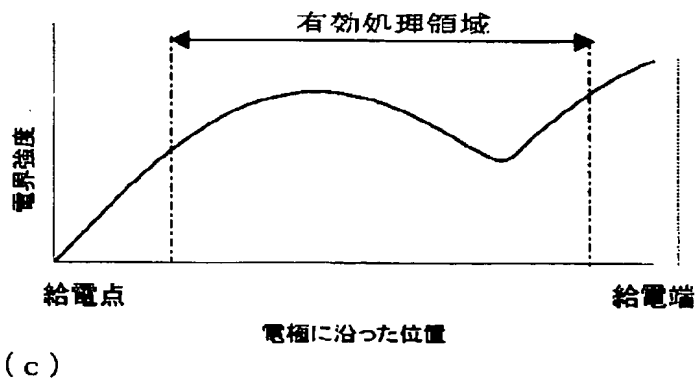
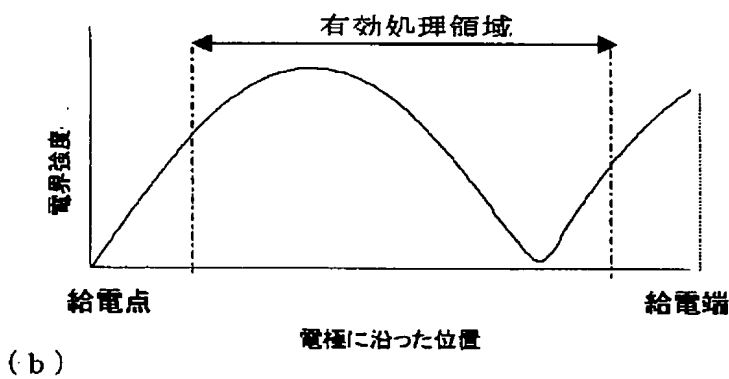
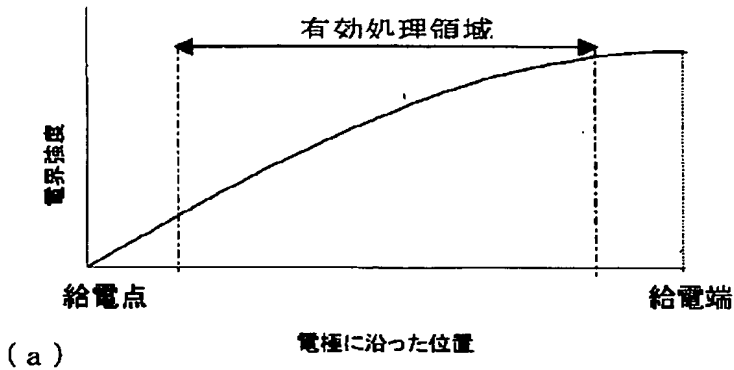
403 p型非晶質シリコン  
404 i型非晶質シリコン

405 n型非晶質シリコン  
406 裏面電極

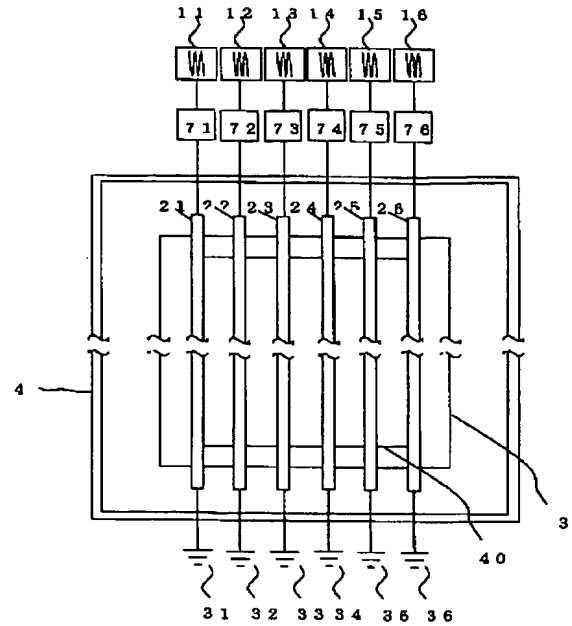
【図1】



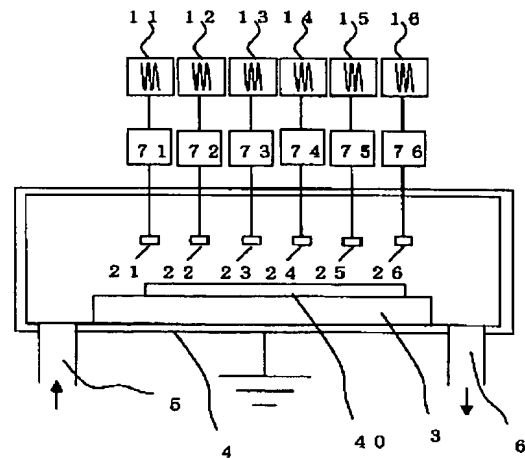
【図2】



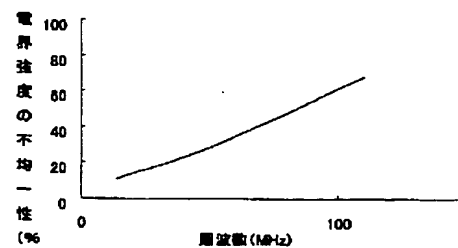
【図3】



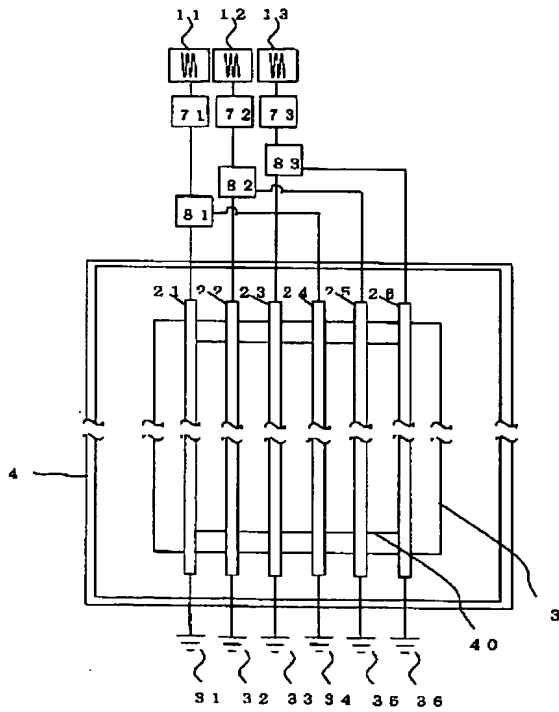
【図4】



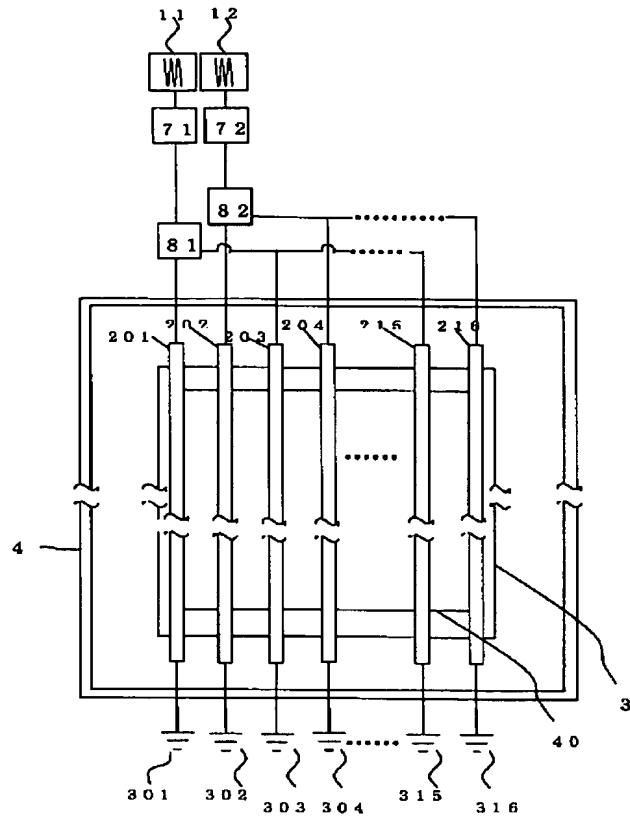
【図13】



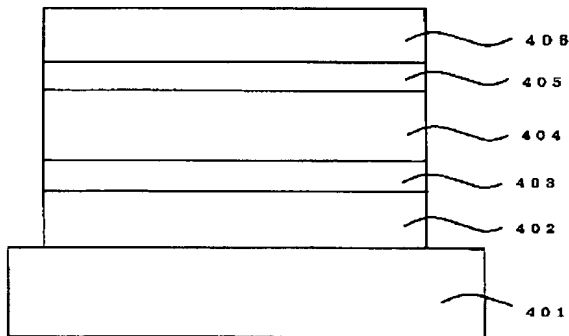
【図 5】



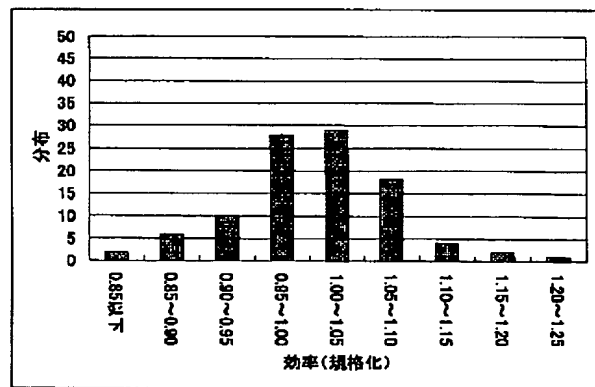
【図 6】



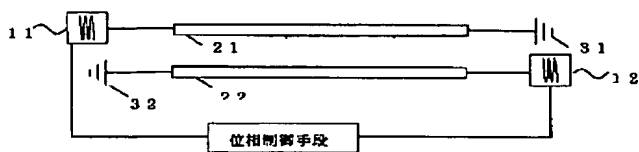
【図 9】



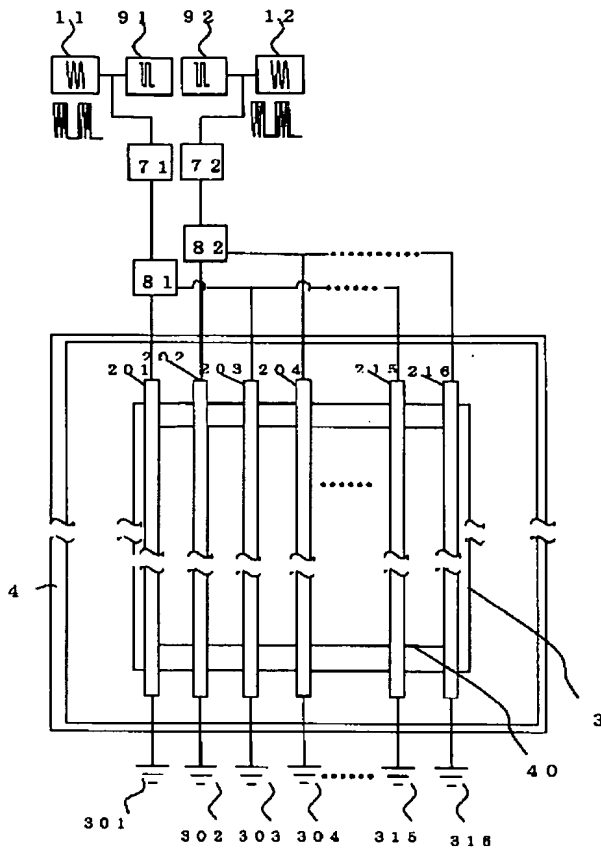
【図 10】



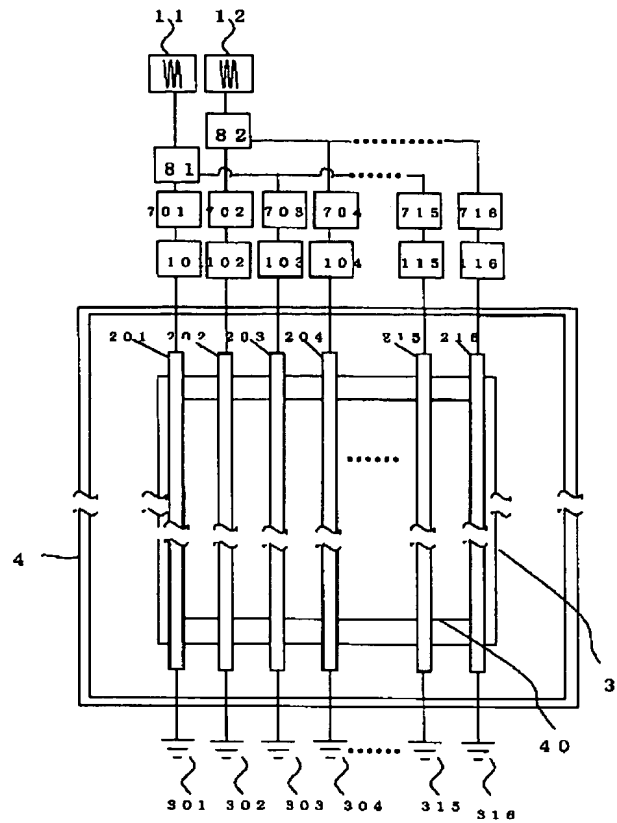
【図 12】



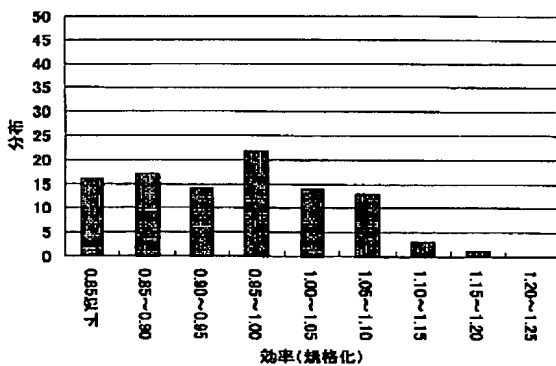
【図 7】



【図 8】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 稲増 崇  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内

F ターム(参考) 4K030 AA06 AA18 BA30 CA06 CA12  
FA03 JA18 KA15 KA30 LA16  
LA18  
5F045 AA08 AB04 AC01 AD06 AE07  
AF07 BB02 CA13 CA15 EH04  
EH11 EH20

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**